

アルミニウムの切削に及ぼす有機極性物質塗布効果 — 切削面性状及び切削抵抗の変化 —

池 田 慎 一*・中 津 正 志**・田 頭 孝 介***

The effect of coating of organic polarity substance on the lubricant
in the cutting of an aluminum
— Cutting surface quality and cutting force —

Shin-ichi IKEDA・Masashi NAKATSU・Kohsuke TAGASHIRA

Abstract

If a cutting surface of aluminum is partially applied by organic polarity substances such as stearic acid or oleic acid, the some effects in the applied part such as, the improvement of cut surface quality, the changes in shape of the chip, the decrease of the cutting resistance and so on will be recognized. In this study, aluminum cutting was held on the orthogonal cutting with cutting speed of 100mm/in, depth of cut 0.02mm, and using the surface application of CCl_4 as a lubricant and 0.2wt% of stearic acid or oleic acid, which is the organic polarity substance. The results obtained are as follows: (1) With small amount of an organic polarity substance, the lubricant effect observed. (2) The CCl_4 and liquid paraffin applied on the cutting surface are of no strong effect for the cutting lubrication. (3) By the microscopic observation of the free surface of the chip, this applying effect should be considered to be a complex effect between the lubricating effect and the electro-chemical effect.

1. 緒 言

有機極性物質が応力を受けている金属表面に吸着していると、降伏応力が減少するという現象はレビンダー効果として知られている。この現象は、Joffe の効果、ロスコー効果等とともに金属材料の機械的性質が環境の影響を受ける現象として知られており、金属の切削加工においても同様の塗布効果が報告されている^{1)~2)}。例えば、軟質金属の加工面に有機極性物質を塗布し、その面を切削すると、有機極性物質が直接工具に付着していないにも関わらずその塗布部分の切削抵抗は減少し、切削面性状が良好になる。このような効果は発見以来多くの研究者に確認され報告されてきたが、この原因についてはまだ定説がないのが現状である。

そこで、本研究では、被削材としてアルミニウム圧延材及び焼鈍材を用いて、その切削面に有機極性物質を塗布し低速2次元切削を行い切削抵抗、切削表面、切屑などがどのように変化するかを明らかにし、有機極性物質塗布効果のメカニズムを検討する。

このような現象は工作機械の寿命低下、作業環境への悪影響など、切削油剤の問題解決に利用でき、新しい潤滑方法として期待されている。また、低切削速度において塗布効果が現れるため精密切削としても利用可能である。

2. 実験方法

被削材は商用純度99.2%(板厚2mm)の冷延板から、圧延材及び焼鈍材(625℃×4h, 真空焼鈍)の2種類の切削用試料を作成し、所定の大きさ(100×35×2mm)に切断したものである。

塗布剤は有機極性物質として、ステアリン酸、オレイン酸を用い、それぞれ流動パラフィンに溶かし0.2wt%とした。また、その他の塗布剤として潤滑剤である四塩化炭素も用いた。Fig.1に塗布部の範囲を示す。無塗布部の範囲はアルミニウムを低速切削する場合、切削抵抗が定常状態になるまでの助走距離(約50mm位)を含んでいる³⁾。塗布剤は工具のすくい面や逃げ面に浸入しないよう

* 助 手 機械工学科

** 助教授 機械工学科

*** 教 授 室蘭工業大学

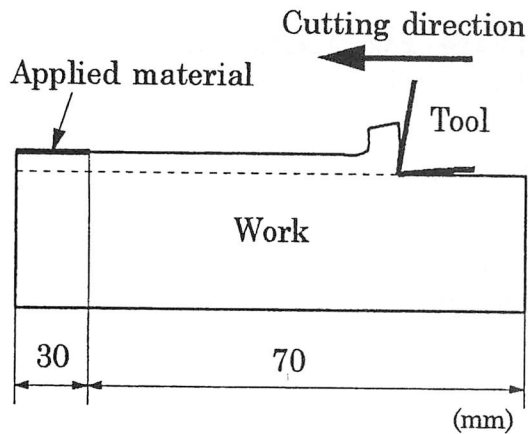


Fig.1 The region of the applied part on cutting surface

Table 1 Cutting conditions

Work material	Al
Tool Material	K-10 (WC)
Rake angle deg	6
Relief angle deg	5
Radius of cutting edge μm	10
Cutting form	Orthogonal cutting
Cutting speeds mm/min	100
Depth of cut mm	0.02
Applied materials	CCl ₄ Stearic acid Oleic acid

に切削面に微量塗布した。

切削はマシニングセンタを使用し低速2次元切削（切削速度：100mm/min）で行った。切削条件は Table.1に示す。切削抵抗はマシニングセンタのテーブル上の試料を固定している工具動力計で測定した。切削表面の硬さについてはマイクロビッカース硬度計で測定した。切削面及び切屑については光学顕微鏡及びSEMで観察した。

また、前加工面は加工変質層の影響を抑えるために最初は0.05mmの切込みでオレイン酸を塗布して切削し、その後0.01mmづつ減少させ、最終的に0.01mmの切込みで数回切削した。

以上の条件で切削を行い、切削抵抗、切削表面、切屑、切削面の硬さなどの変化より塗布効果について検討した。

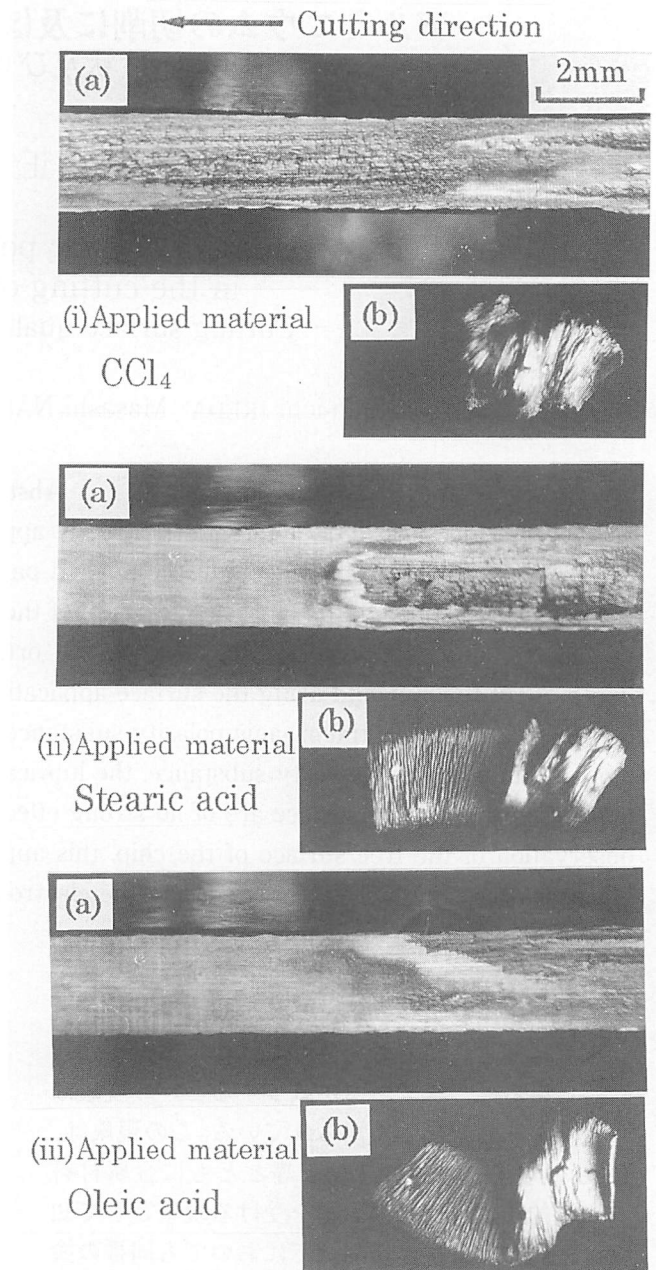


Photo.1 Photographs of cutting surface and chip
Specimen: Annealing, Applied materials: various
(a) Cutting surface (b) Chip

3. 実験結果及び考察

3. 1 塗布効果による切削面及び切屑の変化

Photo.1に焼鈍材試料の前加工面の一部に四塩化炭素、ステアリン酸、オレイン酸を塗布して切削したときの切削面及び切屑の写真を示す。切削面は潤滑剤の四塩化炭素を除きステアリン酸、オレイン酸の有機極性物質を塗布した部分で急激に向上した。無塗布部分にはむしろ跡が観察された。

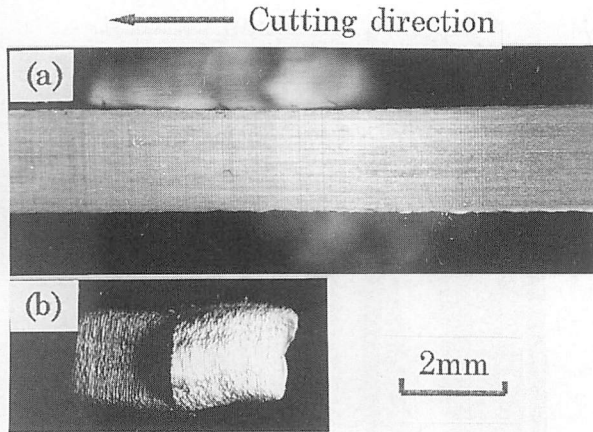


Photo.2 Photographs of cutting surface and chip
Specimen: As rolled, Applied material: Oleic acid
(a) Cutting surface (b) Chip

また、塗布部の切削面には切削方向に対し直角方向に一定間隔の縞模様が観察された。切屑からも同様にステアリン酸、オレイン酸の塗布部の切屑厚さは無塗布部に比べ薄くなり塗布効果が確認できた。四塩化炭素を塗布した切削面にはこのような塗布効果がほとんど現れず、切屑も無塗布部との違いが観察できなかった。

Photo.2に圧延材試料の前加工面の一部にオレイン酸を塗布して切削したときの切削面及び切屑の写真を示す。切削面に関しては焼鈍材試料のように塗布部で急激に向上するという大きな変化はなかった。しかし、塗布部は無塗布部に比べ切削面に光沢があり、塗布部に現れる縞模様も観察できた。一方、切屑からは切屑厚さが塗布部で急激に薄くなり焼鈍材試料と同様に塗布効果が確認できた。

焼鈍材試料と圧延材試料の切削面を比較すると塗布部ではほとんど変化がなかったが、無塗布部では圧延材試料の方にはむしろ跡が観察されなかった。これはアルミニウムなどの軟質金属特有の現象である交番効果⁴⁾と関係があるものと思われる。例えば、焼鈍材試料を切削する場合、試料は激しい塑性変形をうけ塑性的に流動し、同時に加工硬化をうけるため切削力は増大する。しかし、圧延材試料のように加工硬化した試料を切削する場合は塑性流動に費やす動力が小さいので切削力は減少し切削面も良好になるものと考えられる。

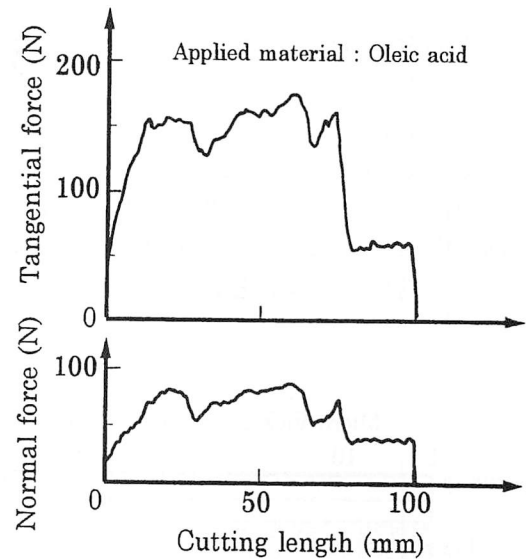


Fig.2 Effect of applied materials on cutting force
Applied material : Oleic acid

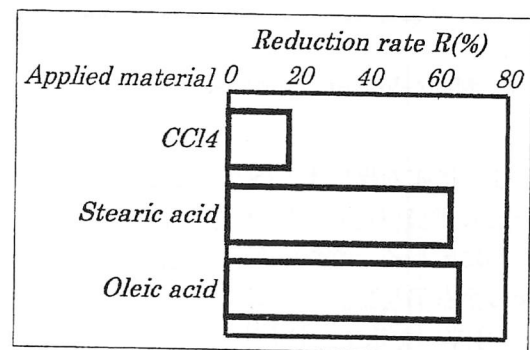


Fig.3 Effect of applied materials on reduction rates
Applied materials: CCl₄, Stearic acid, Oleic acid

3. 2 塗布効果による切削抵抗の変化

Fig.2に焼鈍材試料の前加工面の一部にオレイン酸を塗布し切削したときの主分力及び背分力の変化を示す。それぞれ切削抵抗はオレイン酸の塗布部で急激に減少した。ステアリン酸についても同様の結果が得られたが、四塩化炭素はオレイン酸などに比べ切削抵抗の減少量は小さかった。有機極性物質を塗布した場合の切削抵抗の変化は切削面及び切屑厚さの変化と対応している。

このような塗布効果の大小を定量的に表すため、切削抵抗減少率 R (%) という値を用いる。切削抵抗減少率 R は、 $R = (F_0 - F_1) / F_0 \times 100$ で示される。ただし、 F_0 、 F_1 はそれぞれ無塗布部及び塗布部の切削抵抗 (N) である。

Fig.3に焼鈍材試料の前加工面の一部に四塩化

炭素、ステアリン酸、オレイン酸を塗布して切削したときの主成分の切削抵抗減少率 R を示す。ステアリン酸とオレイン酸は約60%で、四塩化炭素は約20%となった。

このように、潤滑剤である四塩化炭素より、有機極性物質であるステアリン酸、オレイン酸の方が切削抵抗に与える影響、つまり切削抵抗を減少させる塗布効果は大きいということが示された。

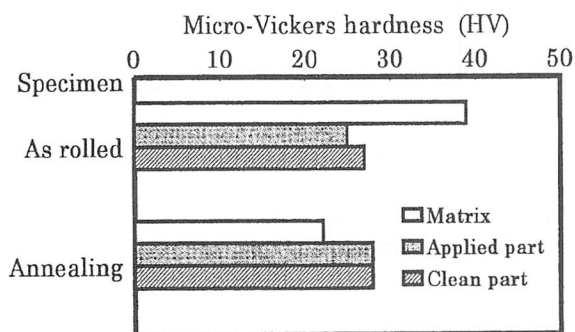


Fig.4 Micro-Vickers hardness on cutting surface

3. 3 塗布効果による硬さの変化

Fig.4に焼鈍材試料及び圧延材試料の前加工面の一部にオレイン酸を塗布して切削したときの切削面の塗布部及び無塗布部のマイクロビッカース硬さ (HV) を示す。焼鈍材試料及び圧延材試料の母材の硬さも同図に示す。それぞれ母材の硬さは焼鈍材試料で20HV 強で、圧延材試料でその約2倍の40HV であるが、無塗布部の切削面の硬さはどちらの試料も30HV 弱であった。しかし、塗布部の切削面の硬さは焼鈍材試料 (30HV 弱) の方が圧延材試料 (25HV) に比べ大きくなった。これは焼鈍した試料の切削では塗布剤を塗布しても加工硬化した試料の切削に比べ切削面を形成するために大きな力が必要になるものと思われる。

3. 4 切屑の自由表面の観察

塗布効果による切削抵抗の減少及び切削面の向上、切屑厚さの減少はそれぞれ有機極性物質の塗布部で起こった。長谷川らによると、切削仕上げ面状態は切削力が小さいほど良好であり、切屑形態と仕上げ面状態及び切削力には非常に密接な関係があるとしている⁵⁾。そこで切屑に着目し、特に切屑の自由表面の観察を行った。

Photo.3に焼鈍材試料の前加工面の一部にオレイン酸を塗布して切削したときの切屑の自由表面

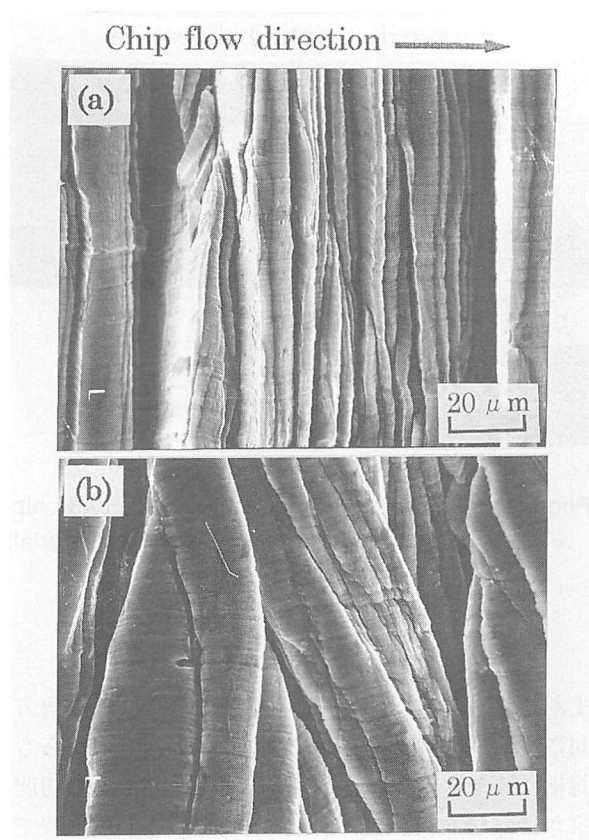


Photo.3 SEM photographs of the free surface of chip

(a)Applied part (b)Clean part

のSEM写真を示す。(a)が塗布部、(b)が無塗布部の切屑自由表面である。(a)、(b)ともに流れ型の切屑であるが、ラメラの間隔 (すべりの間隔) は無塗布部に比べ塗布部の方が小さい。無塗布部の切屑の自由表面はラメラの間隔も一定ではなく、切削方向に対し複雑に変形している。これらの切屑自由表面からも無塗布部の切削抵抗は塗布部に比べ大きいということが予測できる。また、(a)、(b)の切屑自由表面のラメラに垂直な方向の縞模様は切削方向を示す前加工面切削時の工具の痕跡である tool mark である。

Photo.4に焼鈍材試料の前加工面の一部にオレイン酸を塗布して切削したときの切屑断面のエッチング写真を示す。(a)が塗布部で(b)が無塗布部の切屑断面である。(a)の切屑はマクロ的には流れ型であるが、ミクロ的には周期的なせん断変形が観察できた。その一つの層状帯の表面には微細なラメラが形成されている。(a)の切屑の層状帯間隔と切削面の一定間隔の縞模様(Photo.1)は対応している。切屑の自由表面の断面形状は(a)の切屑では尖っており頻繁にクラックの発生が起

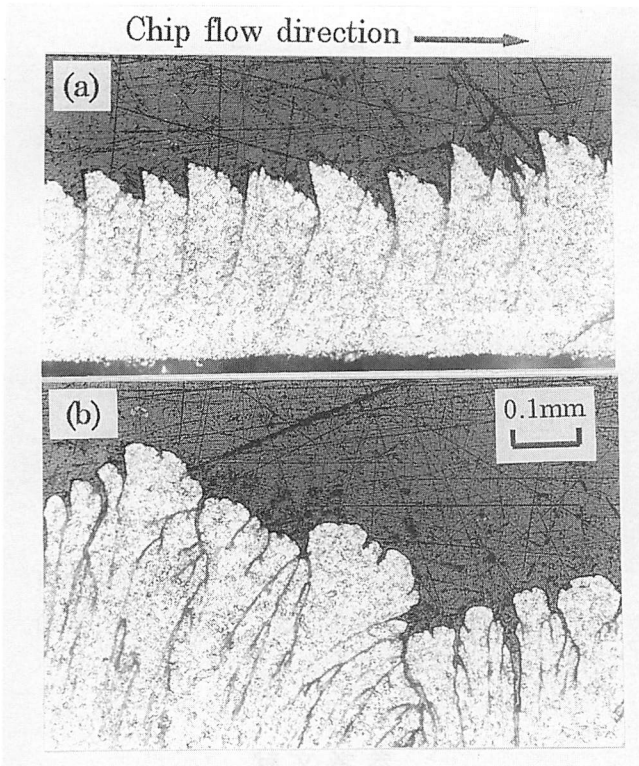


Photo.4 Photographs of a section of chip
(a)Applied part (b)Clean part

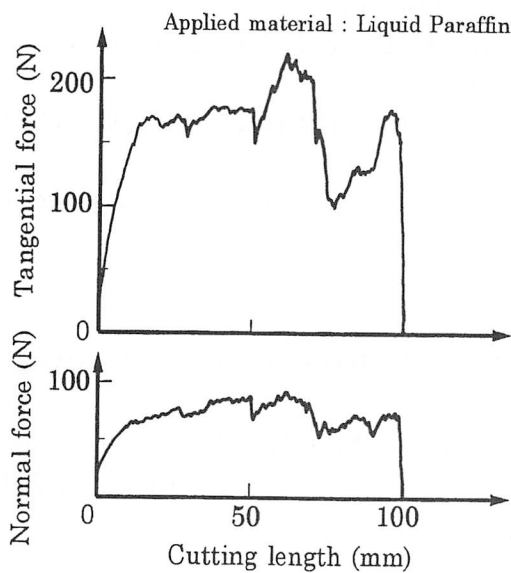


Fig.5 Effect of applied materials on cutting force
Applied material : Liquid paraffin

こっていたように思われる。しかし、(b)の切屑の自由表面の断面形状は丸くすべり線も複雑になっており、切屑が大きな変形を受けたものと思われる。

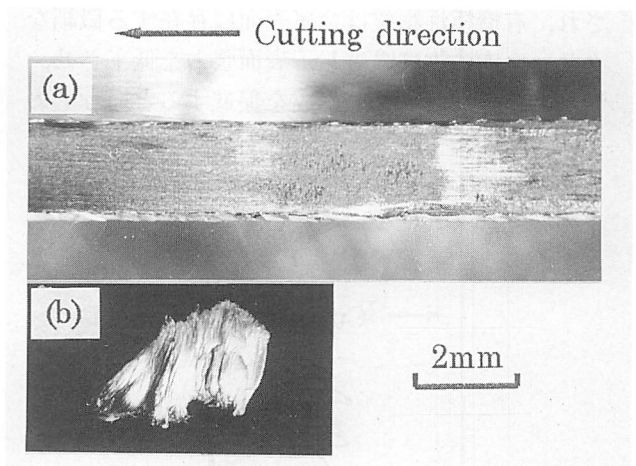


Photo.5 Photographs of cutting surface and chip
Specimen: Annealing, Applied material:
Liquid paraffin

(a)Cutting surface (b)Chip

3. 5 レビンダー効果との関係

本実験の塗布効果は有機極性物質を塗布し切削したときに限り現れた。塗布剤は有機極性物質を流動パラフィンに溶かし0.2wt%と低濃度であるため、流動パラフィンのみを塗布し切削したときの塗布効果について調べた。

Photo.5に焼鈍材試料の前加工面の一部に流動パラフィンを塗布して切削したときの切削面及び切屑の写真を示す。切削面は塗布部と無塗布部の境界が明確ではなかった。切屑についても同様である。

Fig.5に焼鈍材試料の前加工面の一部に流動パラフィンを塗布し切削したときの主分力及び背分力の変化を示す。流動パラフィンを塗布することにより切削抵抗は減少した。しかし、塗布部の切削の進行に伴い切削抵抗は増加した。このときの切削抵抗減少率は約20%で四塩化炭素と同じ値となった。しかし、切削抵抗は塗布部と無塗布部の境界で一度減少したため、塗布効果とは異なる効果が現れた。これは切屑を排出する際、塗布剤がラメラとラメラの間に浸透し一種の境界潤滑をしているものと考えられる。このような効果は塗布効果の中に含まれるが以下潤滑効果と称する。

このように Photo.1 (a) に示すステアリン酸やオレイン酸を塗布したときの切屑は四塩化炭素や流動パラフィンを塗布したときは観察されなかったことから、有機極性物質が存在し力を加えなければ起こらないレビンダー効果と密接な関係があるものと思われる。

レビンダー効果とはレビンダーらによって発見

され、有機極性物質は金属表面に存在する微細なクラック内に物理吸着し、表面張力を低下させ、変形に伴うクラックの生成を促進するというものである^{6)~8)}。このようなレビンダー効果が切屑形成過程に影響を与えているものと考え、塗布効果のメカニズムについて考察する。

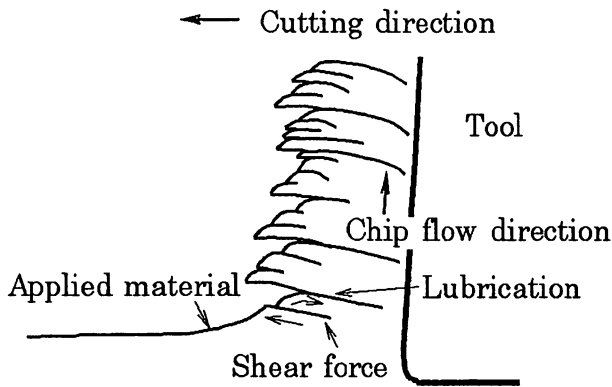


Fig.6 Schematic drawing of chip formation in orthogonal cutting of applied part

3. 6 塗布効果のメカニズム

Fig.6は塗布部における切屑形成過程の模式図を示す。まず、切屑形成過程において前加工面と切屑との間に盛り上がり形成される。その盛り上がり表面は有機極性物質が塗布され力を加えられているのでレビンダー効果による微細なクラックの生成が促進される。そして、そのクラックにせん断力が作用し切屑が形成される。つまり、切削中に盛り上がり部表面で多くのクラックが生成されることにより、切屑厚さが抑制され、無塗布部に比べ切削抵抗が減少したと考えられる。また、このようなクラックを伴う切屑の自由表面形状は尖り、Photo.5の(a)の切屑自由表面形状の説明ができる。一方、無塗布部では切屑形成過程でほとんどクラックの生成を伴わないため切屑の自由表面形状は丸くなり、切屑厚さも厚くなる。

このように本実験における有機極性物質塗布効果は盛り上がり部表面と切屑の境界(ラメラ間)の摩擦を軽減するような潤滑効果と、有機極性物質の塗布によるレビンダー効果の複合的な効果であると考えられる。

4. 結 言

アルミニウムの切削面の一部に有機極性物質を塗布し低速2次元切削した場合、次のような結果を得た。

- 1) 有機極性物質を試料切削面に微量に塗布し切削を行うことにより塗布効果が確認できた。
- 2) 四塩化炭素及び流動パラフィンの塗布による塗布効果は小さかった。
- 3) 塗布効果は潤滑効果及びレビンダー効果の複合的な効果であると考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり終始御協力頂いた室蘭工業大学技官の山森英明氏、大学院生の小嶋裕之氏に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 榊田勝実他：日本機械学会論文集 38巻 316号 P3246
- 2) 金枝敏明他：精密工学会誌, Vol.61, No.5, 1995, P702
- 3) 財満鎮雄他：日本機械学会論文集 33巻 248号 P641
- 4) 財満鎮雄他：日本機械学会論文集 35巻 277号 P1941
- 5) 長谷川嘉雄他：日本金属学会誌 第40巻 (1976) P881
- 6) Rebinder, P : Nature, 159, 4052, (1947) 866.
- 7) 谷口紀男：材料と加工 日本材料科学会編 P51
- 8) 兵藤申一：精密機械 32巻 2号(1966) P162
(平成8年11月29日受理)